

УДК 614.8/551.508.94

## Современная молниезащита зданий и сооружений. Часть 3

© А. С. Харламенков 

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России  
(Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4)

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены варианты реализации профилактической молниезащиты на основе применения локационных систем обнаружения молний с локально установленными детекторами. Проведен анализ нормативной литературы и научных публикаций по данному направлению. Даны технические характеристики современных датчиков фиксации грозовых разрядов. Представлена обобщенная информация о развитии системы грозо-пеленгации на территории России. Показаны способы организации таких систем на пожаровзрывоопасных объектах и их основные отличия.

**Ключевые слова:** профилактическая молниезащита; производственный риск; пожарная безопасность; технологические операции; грозопеленгационная система.

**Для цитирования:** Харламенков А. С. Современная молниезащита зданий и сооружений. Часть 3 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2020. — Т. 29, № 2. — С. 63-67.

 Харламенков Александр Сергеевич, e-mail: h\_a\_s@live.ru

## Modern lightning protection of buildings and constructions. Part 3

© Aleksandr S. Kharlamenkov 

State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4,  
Moscow, 129366, Russian Federation)

### ABSTRACT

Variants of the implementation of preventive lightning protection based on the use of location-based lightning detection systems with locally installed detectors are considered. Analysis of normative literature and scientific publications in this area conducted. The technical characteristics of modern lightning discharge detectors are given. Summarized information about the development of lightning detection systems on the territory of Russia is presented. The ways of organizing such systems at fire and explosion hazardous facilities and their main differences are shown.

**Keywords:** preventive lightning protection; production risk; fire safety; technological operations; lightning location systems.

**For citation:** A. S. Kharlamenkov. Modern lightning protection of buildings and constructions. Part 3. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*, 2020, vol. 29, no. 2, pp. 63-67 (in Russian).

 Aleksandr Sergeevich Kharlamenkov, e-mail: h\_a\_s@live.ru



### ВОПРОС:

В рубрике “Вопрос–Ответ” № 6 журнала за 2019 г. и № 1 за 2020 г. были рассмотрены существующие технические решения молниезащиты зданий и сооружений от прямых ударов молнии и ее вторичных воздействий, в том числе с применением активных молниеприемников, работающих по принципу раннего выброса стримера (ESE), и устройств нейтрализации прямого удара молнии (DAS, CTS, PDCE, CMCE и BCAT/BLT). По результатам анализа научной литературы было установлено, что вышеперечисленные системы молниезащиты на практике показали низкую эффективность по сравнению с классическими молниеотводами. Это обстоятельство указывает на необходимость продолжения научных изысканий в области совершенствования систем управления траекторией движения канала молнии.

Вместе с тем решение проблемы создания надежной системы молниезащиты направило многих специалистов по другому исследовательскому пути. Его суть заключается в том, что если защититься от удара молнии невозможно, то следует к нему подготовиться. Другими словами, если ущерб от удара молнии не избежать, то следует снизить его до минимума за счет принятия превентивных мер. Каким способом можно снизить ущерб от удара молнии в объект без повышения эффективности действия существующих систем молниезащиты?

### ОТВЕТ:

В предыдущих частях статьи [1, 2] рассматривался поиск действенных технических решений по защите зданий и сооружений от прямых ударов молнии и

ее вторичных воздействий. При этом основной акцент был сделан на поиске путей управления траекторией движения молнии, который показал свою несостоятельность. Поэтому разумным решением может являться поиск способов заблаговременного прогнозирования и мониторинга грозовой обстановки вблизи объекта защиты и своевременного принятия мер технического и организационного характера для обеспечения безопасности производственных работ и персонала.

Такие способы относятся к профилактической (превентивной) молниезащите, применение которой особенно актуально на территории пожаровзрывоопасных объектов.

Профилактическая молниезащита включает в себя:

1) технические средства мониторинга и прогнозирования грозовой активности в месте расположения объекта защиты (локационные системы обнаружения молний и локальные детекторы фиксации разрядов);

2) организационные мероприятия по подготовке к наступлению грозовой обстановки на объекте.

В Российской Федерации нормативные требования по реализации профилактической молниезащиты на промышленных объектах отсутствуют, в то время как в ряде европейских стран это направление активно развивается. На сегодняшний день разработаны и введены в действие стандарты с требованиями к локационным системам обнаружения молний (LLS) [3], работающим в низкочастотном диапазоне  $LF$ , и системам грозового оповещения (TWS) с использованием четырех типов детекторов (A, B, C, D) [4]. Каждый из этих типов предназначен для разных задач и оценивает различные фазы грозовой активности (формирование и разрушение грозового облака, удары молнии в землю, межоблачные разряды) на основе различных методов и принципов действия датчиков:

- *MDF* — магнитная пеленгация;
- *TOA* — метод разницы во времени прибытия сигнала;
- *RFI* — радиочастотная интерферометрия;
- *FSM* — измерение напряженности поля;
- *RF* — измерение радиочастотного сигнала.

Основные характеристики применяемых в системах TWS методов и датчиков представлены в таблице.

Датчики, входящие в систему LLS, на сегодняшний день способны обнаруживать более 90 % разрядов молнии со средней ошибкой местоположения в пределах 100 м [5]. Стандарт [3] предъявляет общие минимальные требования к точности местоположения, количества и классификации разрядов. Так, минимальная эффективность обнаружения разрядов (между облаками и облаком и землей) не должна быть ниже 80 % от их реального числа. Максимальная погрешность в определении места удара молнии не может превышать 500 м, а точность классификации разрядов (облако–облако или облако–земля) составляет минимум 85 %. Эти параметры должны оцениваться на основании статистических данных не менее чем по 80 событиям, чтобы они считались достоверными на уровне 90 %. Систем, соответствующих этим стандартам, не так много, но их распространение

в дальнейшем позволит выработать единые требования к мониторингу грозовой активности на всем земном шаре.

Российская Федерация отстает от европейских стран по количеству станций и скорости развития грозопеленгационных систем (ГПС), но ежегодно совершаются уверенные шаги к улучшению данной ситуации.

Существует всемирная сеть регистрации молний WWLLN (*The World Wide Lightning Location Network*), работающая в диапазоне ультранизких частот (VLF). В нее входят также отечественные станции Брянска, Якутска, Владивостока, Магадана, Камчатки и др. [<https://wwlln.net>]. Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) активно разворачивается радиолокационная сеть доплеровских метеорологических радиолокаторов с двойной поляризацией (ДМРА-С). В пределах Московской области ГПС разворачивается на основе датчиков LS 8000 компании *Vaisala*, имеющих максимальный радиус обзора 625 км. В 2020 г. планируется установка 140 локаторов [6].

Кроме того, фирмой “Алвес” с 2006 г. разворачивается система регистрации гроз, которая на сегодняшний день включает в себя более 77 пунктов регистрации электромагнитного излучения молниевых разрядов. К ним относится Северо-Западный куст ГПС (Великий Новгород, Гдов, Тихвин и Воейково) и Северо-Кавказский куст (Ростов-на-Дону, Сочи, Ставрополь и Темрюк). С 2009 г. к системе присоединились г. Минск (Республика Беларусь) и г. Кировск Мурманской обл. В 2010–2011 гг. в европейской части России установлен 21 комплект индикаторов грозовой опасности, в Центральном и Южном ФО — 15 таких комплектов [7].

Следует понимать, что все системы имеют погрешности в определении места грозового разряда, поэтому их применение в целях профилактической молниезащиты требуется не для оценки точности удара молнии, а для получения информации о приближающемся грозовом фронте, например в виде звукового или светового сигнала.

При проведении технологических операций на открытом воздухе по сливу/наливу горючих (ГЖ) и легковоспламеняющихся (ЛВЖ) жидкостей такая информация может быть полезной, так как позволит рабочему персоналу заблаговременно остановить опасный производственный процесс и покинуть открытую местность [8].

Правилами безопасности [9] запрещается проведение закачки и откачки продукта, замер уровня и отбор проб ЛВЖ и ГЖ из резервуаров во время грозы. В то же время Правила технической эксплуатации нефтебаз [10] обязывают технический персонал осуществлять наполнение и опорожнение железнодорожных цистерн в установленные сроки, которые варьируются от 4 до 10 ч. В зависимости от технических характеристик сливоналивного оборудования это время может быть сокращено до 1,5–2,0 ч. В случае простоя транспортных средств свыше сроков, указанных в договоре с нефтебазой, на последнюю могут накладываться штрафные санкции. Это обуславливает частое игнорирование грозовой обстановки по причине возможных убытков из-за превышения лимитов времени на слив/налив нефтепродуктов.

## Характеристики детекторов систем грозового оповещения [4]

| Тип датчика<br>или метода<br>измерения | Фиксируемое<br>датчиком физиче-<br>ское явление           | Рабочий<br>диапазон<br>частот         | Фаза <sup>1</sup> | Тип детектора              |                                  | Радиус<br>действия<br>датчика, км | Основное назначение                                                                                                                                         |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        |                                                           |                                       |                   | основ-<br>ной <sup>2</sup> | второсте-<br>пенный <sup>3</sup> |                                   |                                                                                                                                                             |
| FSM                                    | Процессы<br>накопления<br>зарядов                         | Статические<br>поля DC                | 1–4               | A                          | –                                | 20                                | Раннее предупреждение<br>о приближении грозового<br>фронта                                                                                                  |
| MDF                                    | Движение<br>электрических<br>зарядов                      | Ультранизкие<br>VLF<br>(0,002–30 кГц) | 2,3               | C                          | B                                | Неограни-<br>ченный               | Обнаружение грозовой ак-<br>тивности на очень больших<br>расстояниях с низкой эф-<br>фективностью и точностью<br>определения местоположе-<br>ния разрядов   |
| MDF, TOA                               | Электромагнит-<br>ное излучение<br>(ток молнии)           | Низкие LF<br>(30–300 кГц)             |                   | C                          | B                                | 600–900                           | Определение местоположе-<br>ния ударов молнии в землю<br>в совокупности с межоблач-<br>ными разрядами на боль-<br>шом расстоянии и с высо-<br>кой точностью |
| TOA                                    | Межоблачные<br>разряды / удары<br>молнии в землю<br>IC/CG | Очень<br>высокие VHF<br>(30–300 МГц)  |                   | B                          | C                                | 200                               | Определение местоположе-<br>ния ударов молнии в землю<br>и межоблачных разрядов<br>на среднем расстоянии и<br>с высокой точностью                           |
| RFI                                    | Межоблачные<br>разряды / удары<br>молнии в землю<br>IC/CG |                                       |                   | B                          | C                                | 300                               |                                                                                                                                                             |
| RF                                     | Электромагнит-<br>ное излучение<br>(ток молнии)           | Низкие LF<br>(30–300 кГц)             | 3                 | D                          | –                                | 100                               | Для задач метеорологии                                                                                                                                      |

<sup>1</sup> Фазы грозовой активности:  
1 — формирование грозового облака (ячейки) без разрядов молнии;  
2 — рост грозового облака с межоблачными разрядами;  
3 — окончание формирования грозового облака с межоблачными разрядами и ударами молнии в землю;  
4 — разрушение грозового облака с межоблачными разрядами.

<sup>2</sup> Основной тип детекторов — тип, который является наиболее подходящим для применения.

<sup>3</sup> Второстепенный тип детекторов — тип, который также подходит для применения.

Следует понимать, что человек в силу своих ограниченных возможностей способен точно отследить наступление грозы только в пределах прямой видимости (около 5 км) или по звукам громовых раскатов. На расстояниях 15–20 км он уже не слышит гром, а зона его обзора из-за высоких строений или деревьев может быть ограничена. С учетом средней скорости движения грозовой ячейки, равной 20–30 км/ч, работнику будет предоставлен запас времени не более 1 ч для завершения или приостановки пожароопасного технологического процесса.

Нельзя исключать вариант, при котором над самим объектом обычное облако может превратиться в грозовое. Оно формируется примерно за 10–20 мин, а стадия его зрелости длится 20–30 мин [11]. Следовательно, каждая грозовая ячейка может существовать около 1 ч и иметь радиус 2 км в умеренных широтах. Если место проведения пожаровзрывоопасных работ окажется в пределах образования грозовой ячейки, то персоналу просто

не останется времени на выполнение действий, указанных в технологических картах.

В связи с этим применение локальных детекторов, установленных вблизи или непосредственно на территории защищаемого объекта, позволит организовать систему предупреждения и снизить риск возникновения пожара и взрыва в результате удара молнии.

Система может быть построена в рамках зоновой концепции, которая именуется *зонная профилактическая молниезащита (ZPLP)* [12]. Принцип ее работы заключается в разделении защищаемого пространства на три условных зоны (см. рисунок):

- зона 1 (зона опасности): объект защиты находится в зоне прямого или косвенного воздействия молнии с радиусом  $R_1$ . Данные, собираемые детекторами о местах ударов молнии в этом пространстве, должны быть точными для немедленного оповещения технического персонала о присутствии грозового облака;



Пример распределения зон системы профилактической молниезащиты с применением локальных детекторов

- зона 2 (зона предупреждения): грозовое облако не представляет прямой опасности для объекта защиты в зоне между  $R_1$  и  $R_2$ . Данные с детекторов должны быть точными, и технический персонал должен быть оповещен о приближении опасности. С момента тревоги все пожаровзрывоопасные операции должны быть прекращены и приняты меры по обеспечению безопасности людей и оборудования. Радиус этой зоны обычно составляет порядка 20 км [13];
- зона 3 (зона мониторинга): детекторы должны фиксировать вспышки молнии без особой точности в пределах границы  $R_3 \approx 30$  км и более [14].

У системы ZPLP имеется и ряд недостатков. Один из них связан с проблемой точного определения направления движения грозового облака. Возможна ситуация, когда при входе грозовой ячейки в зону предупреждения  $R_2$  и сигнализация на объекте сработает, и превентивные меры будут приняты, а грозовой фронт пройдет мимо зоны опасности  $R_1$ . В этом случае объекту может быть нанесен косвенный экономический ущерб от простоя. Второй недостаток заключается в проблеме точного определения скорости приближения грозы. От этого параметра зависит время обнаружения грозовой ячейки, а значит и размеры временного коридора для проведения защитных мероприятий. Если выполнение превентивных действий начнется слишком поздно, то объекту может быть нанесен прямой ущерб от удара молнии.

Решению этих проблем посвящен ряд работ [15–18], в которых предлагаются два алгоритма анализа поступающей информации о грозовой активности:

- HRPLP — высоконадежная профилактическая молниезащита;
- FPLP — неточная (нечеткая) профилактическая молниезащита.

Оба типа используют сведения, получаемые в режиме реального времени от ГПС с помощью детекторов, входящих в состав системы. По этим данным система HRPLP формирует критерий срабатывания тревоги на основе определения направления движения грозового облака и его скорости. Оповещение срабатывает только в том случае, если грозовое облако находится близко к зоне опасности и движется в ее сторону. При этом запаса времени должно быть достаточно для выполнения профилактических мероприятий.

Главное отличие системы HRPLP от ZPLP в том, что она фокусируется на прогнозировании движения всех грозовых ячеек, окружающих объект, а не на статической зоне предупреждения, в которую входит облако. За счет этого достигается более точная оценка необходимости выполнения превентивных действий. Такая система более эффективна, но по финансовым вложениям на ее построение может оказаться затратной. При использовании локальных детекторов с менее высокой точностью определения точки удара молнии можно сократить расходы на построение системы.

Неточная система молниезащиты FPLP использует для оценки опасности те же данные ГПС, что и система HRPLP. Для ее работы применяется алгоритм вывода конечных данных при помощи системы нечеткой логики, разработанной Такаги – Сугено [19]. Суть нечеткой логики заключается в определении вероятности прохождения ячейки над объектом в зоне опасности. Система сформирована в виде обобщенных данных, распределенных по классам: “точно нет”, “нет”, “возможно”, “да” и “точно да”. Название системы “неточная” говорит о том, что она показывает конечному пользователю “степень опасности” грозовой ячейки в форме классов, а не в виде числовых значений.

Система FPLP позволяет получить информацию о фактическом времени до наступления грозы. Для этого выполняется расчет относительного времени  $t$  [16]:

$$t = (t_{\text{гроз}} - t_{\text{мер}}) / t_{\text{мер}},$$

где  $t_{\text{гроз}}$  — расчетное время до наступления грозы;

$t_{\text{мер}}$  — время, необходимое персоналу для выполнения превентивных действий.

Время  $t$  является одним из факторов, определяющих успешную профилактическую подготовку к наступлению грозы. Так как значение  $t_{\text{мер}}$  заранее известно, то, умножая его на относительное время  $t$ , можно получить фактическое время для принятия превентивных мер.

Вторым фактором является необходимость начала выполнения профилактических мероприятий. Он варьируется от 0 до 1. При значении, равном 1, требуется немедленное выполнение превентивных действий.

В результате всех промежуточных операций система FPLP выводит по одному значению для каждого фактора. Для фактора времени есть три уровня — низкий, средний, высокий; для фактора необходимости выполнения превентивных действий — очень низкий, низкий, средний, высокий, очень высокий. На основании полученных данных системой FPLP формируется команда на включение тревоги.

Таким образом, для обеспечения безопасного проведения технологических операций, технического обслуживания и ремонтных работ на пожаровзрывоопасных объектах могут быть применены различные системы профилактической молниезащиты (ZPLP, HRPLP, FPLP) в комплексе с уже установленными молниеотводами и устройствами защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харламенков А. С. Современная молниезащита зданий и сооружений. Часть 1 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2019. — Т. 28, № 6. — С. 89–91.
2. Харламенков А. С. Современная молниезащита зданий и сооружений. Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. — 2020. — Т. 29, № 1. — С. 89–92.
3. IEC 62858–2019. Ed. 2: Lightning density based on lightning location systems (LLS) — General principles. URL: <http://www.standards.ru/document/6475841.aspx>.
4. IEC 62793–2016. Ed. 1: Protection against lightning — Thunderstorm warning systems. URL: <http://www.standards.ru/document/6140910.aspx>.
5. Pédeboy S. Introduction to the IEC 62858: Lightning density based on Lightning Locating Systems // ILPS 2018 — International Lightning Protection Symposium (October 24–27, 2018, Shenzhen, China). URL: [https://www.researchgate.net/publication/328687814\\_Introduction\\_to\\_the\\_IEC\\_62858\\_lightning\\_density\\_based\\_on\\_Lightning\\_Locating\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/328687814_Introduction_to_the_IEC_62858_lightning_density_based_on_Lightning_Locating_Systems).
6. Мозер А. Л. Визуализация данных грозопеленгаторов и доплеровских метеорологических локаторов с двойной поляризацией // Ученые записки РГМУ. — 2016. — № 43. — С. 174–183.
7. Снегуров А. В., Снегуров В. С. Экспериментальная грозопеленгационная система // Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. — 2012. — № 567. — С. 188–200.
8. Марков А. Г., Харламенков А. С., Абросимов С. В. Система мониторинга и прогнозирования грозовой обстановки на объектах хранения нефтепродуктов // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций : сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции (25 октября 2019 г., г. Железногорск). — Железногорск : Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. — С. 161–172.
9. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности “Правила безопасности нефтегазоперерабатывающих производств” : приказ Ростехнадзора от 29.03.2016 № 125 (с изм. 15.01.2018). URL: <https://le-galacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-29032016-n-125-ob-utverzhenii-federalnykh/>.
10. Правила технической эксплуатации нефтебаз : приказ Минэнерго РФ от 19.06.2003 № 232 // Российская газета. — 05.11.2003. — № 224. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901866234>.
11. Ермаков В. И., Стожков Ю. И. Физика грозовых облаков. — М. : Препринт ФИАН РФ, 2004. — № 2. — 39 с.
12. Mäkelä J., Porjo N., Jantunen J., Ahola T., Mäkelä A., Tuomi T., Cooray V. Single-station narrowband ranging of active storm cells without lightning-type discrimination // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. — 2009. — Vol. 71, No. 8-9. — P. 911–922. DOI: 10.1016/j.jastp.2009.03.005.
13. Gulyás A., Mäkelä J., Németh B., Cooray V., Kiss I., Berta I. Local detectors in preventive lightning protection // Journal of Lightning Research. — 2012. — Vol. 4, No. 1. — P. 139–148. DOI: 10.2174/1652803401204010139.
14. Mäkelä J. Electromagnetic signatures of lightning near the HF frequency band: Academic Dissertation in Physics. — Helsinki : Finnish Meteorological Institute, 2009. — 100 p.
15. Gulyás A., Kiss I. High reliability preventive lightning protection // 20<sup>th</sup> International Lightning Detection Conference (April 21–23, 2008, Tucson, AZ, USA). — 9 p.
16. Németh B., Kiss I. Application of fuzzy logic based expert system in preventive lightning protection // Journal of Electrostatics. — 2009. — Vol. 67, No. 2-3. — P. 477–481. DOI: 10.1016/j.elstat.2009.01.046.
17. Barrera L. F., Salazar S., Bolaños F. A Fuzzy inference system for lightning location. — 2012. — 4 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/267554302>.
18. de Souza A. N., da Silva I. N., Zago M. G., Flauzino R. A. Mapping lightning processes using fuzzy inference system // Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (May 12–17, 2002, Honolulu, USA). — 2002. — Vol. 1-2. — 5 p. DOI: 10.1109/FUZZ.2002.1005027.
19. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. — 1985. — Vol. SMC-15, Issue 1. — P. 116–132. DOI: 10.1109/tsmc.1985.6313399.

Материал поступил в редакцию 20.03.2020  
Received March 20, 2020

## Информация об авторе

**ХАРЛАМЕНКОВ Александр Сергеевич**, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [h\\_a\\_s@live.ru](mailto:h_a_s@live.ru)

## Information about the author

**Aleksandr S. KHARLAMENKOV**, Senior Lecturer of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russian Federation; e-mail: [h\\_a\\_s@live.ru](mailto:h_a_s@live.ru)